

Sławomir Grabarczyk  
Zakład Instalacji Budowlanych i Fizyki Budowli  
Politechnika Warszawska

## BADANIA ZMIENNOŚCI ZUŻYCIA CIEPŁA W SZKLARNIACH Z OSŁONAMI ENERGOOSZCZĘDNymi

### Streszczenie

Szklarnie są lekkimi budynkami z przegrodami o znacznym wpływie warunków klimatu zewnętrznego na zużycie energii cieplnej i mikroklimat. W referacie przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych w trzech obiektach rzeczywistych z różnymi sposobami kształtowania budynków szklarniowych w aspekcie oszczędności energii. Pomiary wykonano dla szklarni wielonawowej i dwóch szklarni wolnostojących z różnymi typami ekranów termoizolacyjnych oraz uzupełniono o pomiar dla całego kompleksu szklarniowego.

Zastosowanie ruchomych ekranów zmienia charakterystykę termiczną przegród zewnętrznych. Ekran termoizolacyjny niwelują wpływ zmian temperatury zewnętrznej na wahania temperatury wewnątrz szklarni. Przebiegi zmian zużycia energii cieplnej w badanych szklarniach zblokowanej i wolnostojącej są istotnie różne. Wyniki tych badań prezentują zmienność zużycia energii cieplnej zależną od właściwości termicznych przegród zewnętrznych i warunków klimatu zewnętrznego.

**Słowa kluczowe:** szklarnia, przegroda, osłony energooszczędne, klimat zewnętrzny, pomiar, ciepło

### Wykaz symboli:

- $Q_{6A}$  – zużycie energii cieplnej w szklarni pojedynczej 6A, [GJ];
- $Q_{6B}$  – zużycie energii cieplnej w szklarni pojedynczej 6B, [GJ];
- $Q_{11}$  – zużycie energii cieplnej w szklarni zblokowanej 11, [GJ];
- $Q_K$  – zużycie energii cieplnej w całym kompleksie szklarniowym, [GJ].

## **Wprowadzenie**

Prognozowanie zużycia energii cieplnej w obiektach szklarniowych wymaga właściwego określenia wpływu zewnętrznych warunków klimatycznych i właściwości przegród na rozpatrywany model obiektu. Jest to możliwe poprzez przeprowadzenie długoterminowych badań w obiektach rzeczywistych z rejestracją wymaganych zmiennych, mających wpływ na wielkość zużycia ciepła. Tylko takie podejście daje możliwość zgromadzenia odpowiedniego materiału badawczego, umożliwiające wiarygodne poznanie zachowania obiektu w zmiennych warunkach klimatycznych.

Kształtowanie mikroklimatu szklarni jest bezpośrednio związane ze zmiennością zużycia energii cieplnej, czy to w ciągu doby czy też w przekroju pełnego. Ma to również znaczenie dla funkcjonowania obiektu oraz prawidłowej eksploatacji jego instalacji oraz właściwego określenia parametrów pracy w celu ograniczenia zużycia energii cieplnej.

## **Cel**

Celem wykonanych badań było ustalenie rzeczywistych przebiegów zmian zużycia energii cieplnej w wybranych obiektach szklarniowych z dodatkowymi osłonami energooszczędnymi, eksploatowanych w zmiennych warunkach klimatycznych.

## **Założenia badawcze**

Analizie poddano trzy obiekty szklarniowe zlokalizowane w jednym gospodarstwie ogrodnictwa. Dwa spośród badanych obiektów 6A i 6B to szklarnie pojedyncze, które stanowią część kompleksu dwudziestu szklarni połączonych wspólnym łącznikiem komunikacyjnym. Trzeci obiekt to szklarnia zblokowana, dziewiętnastonawowa będąca nowym obiektem w gospodarstwie ogrodnictwa. Uzupełnieniem dla przeprowadzonych badań są także pomiary zużycia energii cieplnej dla całego kompleksu szklarniowego. Właściwości przegród badanych szklarni przedstawiono w tabelicy 1.

W szklarniach pojedynczych funkcjonują dodatkowe osłony w postaci ruchomych ekranów o właściwościach cieniująco-energooszczędnych. Szklarnia wielonawowa jest nowym obiektem, bez ruchomych ekranów, z dodatkową bierną osłoną z grubej folii pęcherzykowej przytwierdzonej na zewnętrznej stronie przegród pionowych. Szklarnie są przeznaczone do całorocznej uprawy kwiatów w doniczkach, zatem przerwy w dostawie ciepła do szklarni występują jedynie w okresie niezbędnych przeglądów, konserwacji i napraw źródła ciepła i instalacji grzewczej.

Tabela 1. Szklarnie badane – rodzaj i właściwości pokrycia szklarni. Oznaczenia w tabeli: GL – pojedyncze szkło, TS – ekran termoizolacyjny, ABF – gruba folia pęcherzykowa, E\* - energooszczędność ekranu, [%]; Z – zacielenie ekranu, [%]

Table 1. Tested hothouses – type and properties of hothouse covering Table markings: GL – single glazing, TS – thermal insulation screen, ABF – thick bubble foil, E\* - screen energy saving properties, [%]; Z – screen shading, [%]

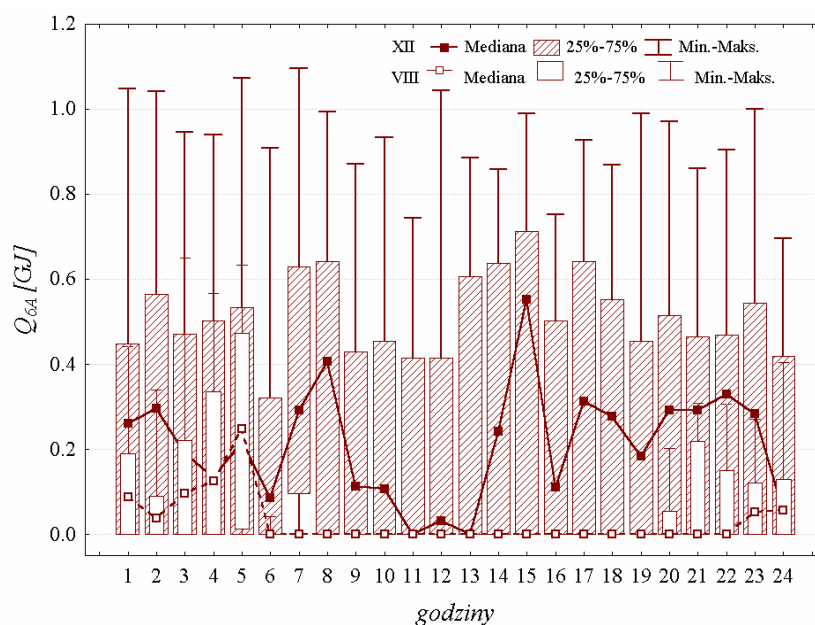
szklarnia nr	pojedyncza 6A	pojedyncza 6B	wielonawowa 11
Pow. zabudowy:	1 250 m <sup>2</sup>	1 250 m <sup>2</sup>	8 208 m <sup>2</sup>
Pow. osłony:	1 845 m <sup>2</sup>	1 845 m <sup>2</sup>	10 774 m <sup>2</sup>
Materiał pokrycia dach:	GL + TS	GL + TS	GL
ściana boczna:	GL + TS	GL + TS	GL+ABF
ściana szczytowa:	GL+ABF	GL+ABF	GL+ABF
Usytuowanie ekranu	równoległe do ścian i powierzchni dachu	równoległe do ścian i poziomo na wysokości okapu	–
Właściwości dodatkowych osłon	TS E* = 60% Z = 65%	TS E* = 50% Z = 70%	ABF E* = 37% Z = 50%

W badanych obiektach zastosowano dwuobwodowy układ ogrzewania. Pierwszy system to ogrzewanie wegetacyjne - rury umieszczone między doniczkami, kształtujący mikroklimat w strefie uprawy roślin. Drugi system chroni strefę uprawną przed napływem chłodnego powietrza spod połaci dachu i składa się rur usytuowanych wzdłuż ścian bocznych i szczytowych (ogrzewanie boczne) oraz rur umieszczonych na wysokości okapu szklarni (ogrzewanie górne). Źródłem ciepła dla gospodarstwa ogrodniczego jest kotłownia na paliwo stałe o mocy 11 MW.

Badania własne obejmowały pomiary klimatu zewnętrznego, mikroklimatu szklarni oraz zużycia ciepła w poszczególnych obiektach. Pomiary parametrów mikroklimatu i klimatu zewnętrznego wykonano przy wykorzystaniu systemu sterowania mikroklimatem szklarni z automatyczną rejestracją danych. Pomiary zużycia energii cieplnej zostały wykonane w systemie pomiarowym składającym się z czterech ciepłomierzy, połączonych z systemem rejestracji danych. Dla wybranych szklarni zarejestrowano dane w okresie od września 2000 do sierpnia 2001r., natomiast dla całego kompleksu szklarniowego zostały wykonane w 2001r. Interwał czasowy między rejestrowanymi danymi przyjęto 10 min.

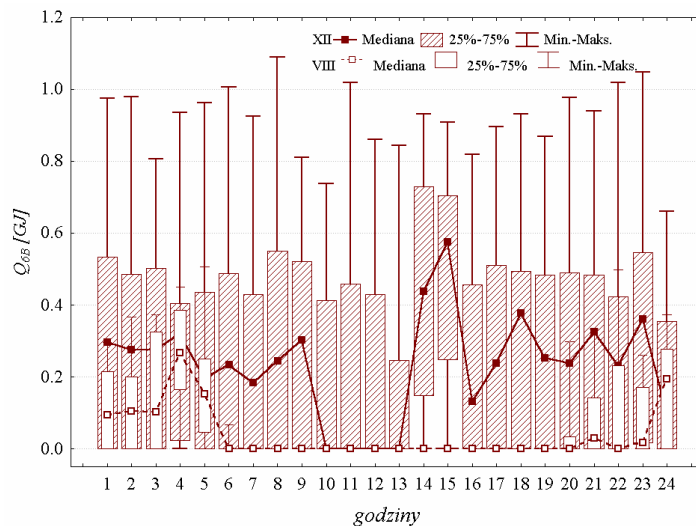
## Wyniki pomiarów

Obiekt szklarniowy funkcjonuje przez cały rok, stąd też zaprezentowano rozkłady zmienności zużycia energii cieplnej w przekroju dobowym dla przykładowych miesięcy z okresu zimowego (grudzień) i letniego (sierpień). Zarejestrowane wyniki pomiarów zachowano z czasem obowiązującym w okresie zimowym. Przyjęto, że zaobserwowane wartości zostaną zaprezentowane w sposób ilościowy, wskazujący na rozrzut w poszczególnych godzinach doby. Wyniki pomiarów zostały przeliczone dla wartości godzinowych w celu czytelnej ich identyfikacji na przedstawionych rysunkach 1 – 4. Przykładowe przebiegi zarejestrowanych parametrów przedstawiono we wcześniejszych publikacjach [Grabarczyk 2003; Grabarczyk 2004].



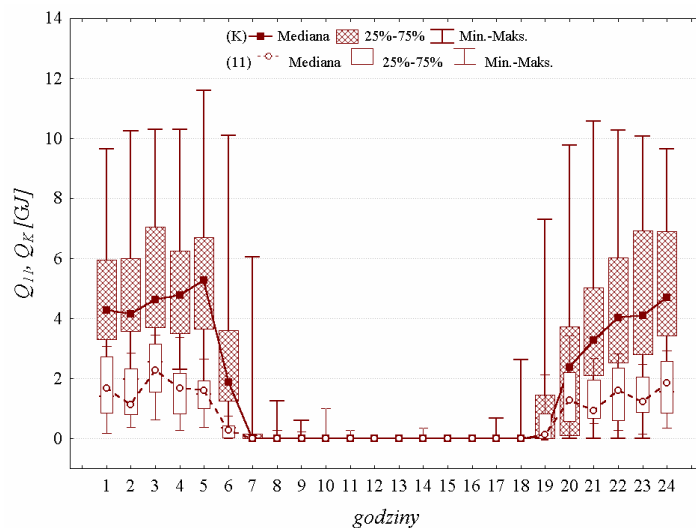
Rys. 1. *Dobowa zmienność zużycia energii cieplnej w szklarni pojedynczej 6A z ekranem trapezowym w miesiącach sierpniu i grudniu*

Fig. 1. *The daily variability of heat energy consumption in a single hothouse 6A with trapezoid screen in August and December*



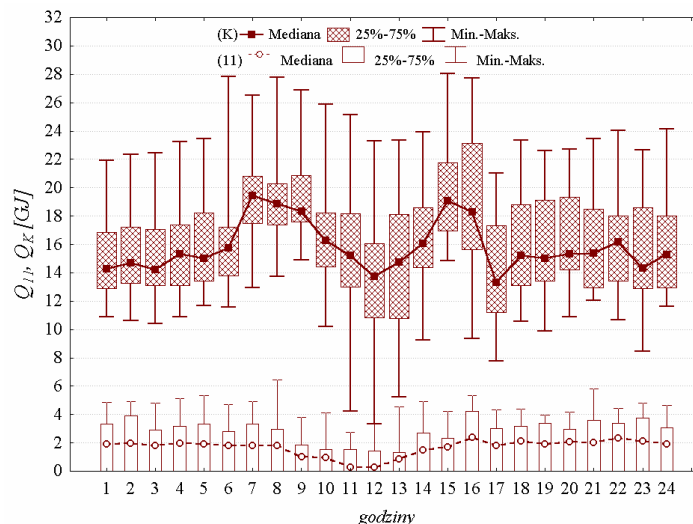
Rys. 2. *Dobowa zmienność zużycia energii cieplnej w szklarni pojedynczej 6B z ekranem poziomym w miesiącach sierpniu i grudniu*

Fig. 2. *Daily variation of the heat energy consumption in a single hothouse 6B with a horizontal screen in August and December*



Rys. 3. *Dobowa zmienność zużycia energii cieplnej w szklarni zblokowanej (11) i w całym kompleksie szklarniowym (K) w miesiącu sierpniu*

Fig. 3. *Daily variability of the heat energy consumption in a grouped hothouse (11) and the whole hothouse complex (K) in August*



Rys. 4. Dobowa zmienność zużycia energii cieplnej w szklarni zblokowanej (11) i w całym kompleksie szklarniowym (K) w miesiącu grudniu

Fig. 4. Daily variability of the heat energy consumption in a grouped hothouse (11) and the whole hothouse complex (K) in December

## Dyskusja

Przedstawione na rys. 1 i 2 rozkłady występowania godzinowego zużycia energii cieplnej dotyczą obiektów o zbliżonej charakterystyce, tzn. są to szklarnie pojedyncze z dodatkowymi osłonami ruchomymi w postaci ekranów termoizolacyjnych. Rys. 1 i 2 wskazują na zwiększone zużycie energii cieplnej w okresach zmian właściwości przegród zewnętrznych szklarni. Szczególnie jest to widoczne w okresie otwierania ekranów. W okresie lata znaczący wzrost zużycia ciepła jest obserwowany podczas otwierania dodatkowej osłony o charakterze aktywnym i konieczności ogrzania mas chłodnego powietrza zalegających w przestrzeni między ekranem i przegrodą przezroczystą. Temperatury zadane w szklarniach pojedynczych wynoszą w sierpniu odpowiednio 18°C dla szklarni 6A i 19°C w szklarni 6B, natomiast w grudniu temperatury zadane w obu obiektach wynoszą 11°C.

Pomiary w miesiącu grudniu wskazują na występowanie maksymalnego zużycia energii cieplnej w godzinach rannych, podczas otwierania ekranów oraz w godzinach wieczornych podczas ich zamykania. Minimalny rozbiór ciepła obserwuje się w porze dnia, mimo że ekran nie stanowi wtedy dodatkowej osłony, a przegroda zewnętrzna ma gorsze właściwości termoizolacyjne. W miesiącu sierpniu szklarnie

pojedyncze wykazują zapotrzebowanie na ciepło jedynie w godzinach nocnych. Maksymalny rozbiór energii cieplnej ma miejsce w godzinach rannych podczas otwierania ekranów. Zdecydowana ilość obserwowanych przypadków zużycia ciepła jest na poziomie zerowym o czym świadczą zakresy występowania wyników oraz wartości mediany.

Rozkłady występowania godzinowego zużycia energii cieplnej dla szklarni zblokowanej i całego kompleksu szklarniowego w miesiącu sierpniu przedstawiono na rys. 3. Przebieg zmienności dla szklarni wielonawowej jest bez charakterystycznych ekstremów, jakie zostały zaobserwowane w obiektach pojedynczych z osłonami aktywnymi. Pomiar zużycia energii cieplnej dla całego kompleksu wykazuje istotny jej przyrost w godzinach porannych, kiedy w dwudziestu szklarniach pojedynczych obserwuje się zwiększony pobór energii cieplnej. Średnia temperatura zadana w szklarni wielonawowej wynosiła w miesiącach badanych odpowiednio: 20°C w sierpniu i 14°C w grudniu.

Dobowa zmienność zużycia energii cieplnej w szklarni zblokowanej i dla całego kompleksu w miesiącu grudniu zaprezentowana została na rys. 4. Szklarnia wielonawowa nie wykazuje zwiększonych rozbiorów energii cieplnej, tak jak to miało miejsce w szklarniach z ruchomymi osłonami energooszczędnymi. W szklarni zblokowanej charakter zmian jest bardziej stabilny, bez istotnych wahań przepływu czynnika grzejącego, pobieranej mocy chwilowej i wpływu na funkcjonowanie źródła ciepła.

Przebieg zmian zużycia energii w przekroju doby dla całego kompleksu wykazuje wahania, które są wynikiem zmiennego obciążenia występującego w szklarniach pojedynczych. Charakterystyczne jest utrzymywanie się na stałym poziomie zużycia energii w okresie nocnym dla całego kompleksu, zwiększenie w okresach otwierania i zamykania ekranów, czyli podczas zmiany charakterystyki cieplnej przegród zewnętrznych.

## **Wnioski**

W pracy przedstawiono w ujęciu ilościowym wybrane aspekty związane ze zmiennością zużycia ciepła w szklarniach, wynikające ze sposobu funkcjonowania ekranów w różnych okresach eksploatacji obiektów. Wynikiem zastosowania ruchomych ekranów termoizolacyjnych jest duża zmienność obciążenia systemu ogrzewczego i źródła ciepła. Szczególnie charakterystyczna jest ona dla obiektów szklarniowych w okresie otwierania i zamykania ruchomych ekranów. Konieczne jest sprawdzenie, czy obciążenie systemu grzewczego i źródła ciepła nie przekracza w tym czasie wartości określonych dla warunków obliczeniowych na podsta-

wie norm. Jeśli tak, to konieczne wydaje się zweryfikowanie wytycznych do wymiarowania instalacji grzewczych szklarni z ekranami termoizolacyjnymi.

Zgromadzony materiał badawczy daje możliwość do zbudowania własnego modelu symulacyjnego do prognozowania zużycia energii cieplnej oraz parametrów mikroklimatu w obiektach szklarniowych. Zakłada się, że z uwagi na zgromadzoną ilość informacji w postaci danych pomiarowych, możliwe jest uzyskanie wiarygodnych wyników symulacji, zgodnych z danymi otrzymanymi z pomiarów na rzeczywistym obiekcie. Wielowymiarowy charakter zjawisk związanych z wymianą ciepła w obiektach szklarniowych oraz występowanie dużej ilości czynników mających wpływ na wielkość zużycia energii cieplnej wskazuje na konieczność zastosowania w tym celu sztucznych sieci neuronowych. Klasyczne metody analizy statystycznej opierają się na rozważaniach teoretycznych i wielu założeniach, które ograniczałyby złożony charakter zjawisk występujących w tym obszarze.

### **Bibliografia**

GRABARCZYK S. 2003: „Badania zmienności zaopatrzenia w ciepło obiektów szklarniowych”. XV Konferencja Ciepłowników „Problemy Ciepłownictwa z uwzględnieniem uregulowań prawnych”. Solina, s. 85 – 92.

GRABARCZYK S. 2004: „Pomiary zużycia energii cieplnej w obiektach szklarniowych z aktywnymi osłonami energooszczędny”. XV Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Wentylacja, Klimatyzacja, Ogrzewnictwo, Zdrowie”. Zakopane-Kościelisko, (referat zgłoszony do recenzji i druku).

## **RESEARCH OF HEAT CONSUMPTION VARIABILITY IN HOTHOUSES WITH ENERGY-SAVING COVERS**

### **Summary**

Hothouses are lightweight structures with partitions, with significant influence of the external climate on heat energy consumption and microclimate. The paper presents the results of research conducted in three real facilities with various methods of shaping hothouse facilities as regards energy saving. The measure-



ments were performed for one multi-aisle hothouse and one detached hothouse with various types of thermal insulation screens; the measurements were supplemented by the measurement for the whole hothouse complex.

Using movable screens changes the thermal characteristics of external partitions. Thermal insulation screens level off the influence of the external temperature changes on the fluctuations of temperature inside the hothouse. The courses of heat energy consumption in the tested hothouses: grouped and detached are significantly different. The results of this research presents variability of heat energy consumption depending upon the thermal properties of the internal partitions and the external climate conditions.

**Key words:** hothouse, partitions, energy-saving screens, internal climate, measurement, heat